

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2001166159
PUBLICATION DATE : 22-06-01

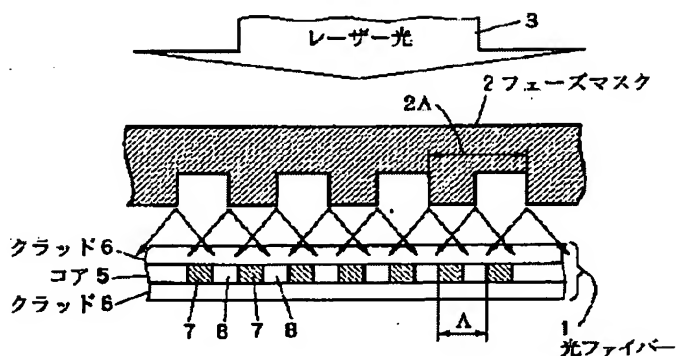
APPLICATION DATE : 09-12-99
APPLICATION NUMBER : 11350326

APPLICANT : OKI ELECTRIC IND CO LTD;

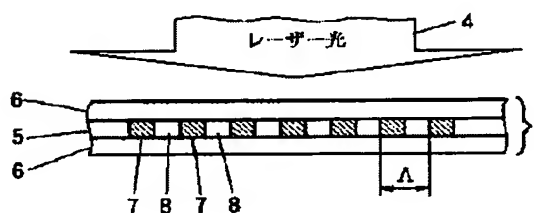
INVENTOR : OGURA SHIGEKI;

INT.CL. : G02B 6/10 G02B 5/18 G02B 6/00
G02B 6/16

TITLE : METHOD FOR MANUFACTURING
OPTICAL WAVEGUIDE ELEMENT



(A)ブラッググレーティング形成工程



(B)トリミング工程

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for manufacturing an optical waveguide element capable of exactly regulating the characteristics of Bragg gratings.

SOLUTION: This method for manufacture has a Bragg grating forming step for irradiating an optical fiber 1 which gives rise to a photo-induced refractive index change with a UV laser beam 3 via a phase mask 2 and a trimming step for irradiating the optical fiber 1 with the UV laser beam 3 without via the phase mask.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-166159

(P2001-166159A)

(43) 公開日 平成13年6月22日 (2001.6.22)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
G 0 2 B 6/10		G 0 2 B 6/10	C 2 H 0 3 8
5/18		5/18	2 H 0 4 9
6/00	3 0 1	6/00	3 0 1 2 H 0 5 0
6/16		6/16	

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平11-350326

(22) 出願日 平成11年12月9日 (1999.12.9)

(71) 出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72) 発明者 西木 玲彦

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気
工業株式会社内

(72) 発明者 小椋 茂樹

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気
工業株式会社内

(74) 代理人 100083840

弁理士 前田 実

F ターム (参考) 2H038 BA25

2H049 AA33 AA34 AA62 AA66

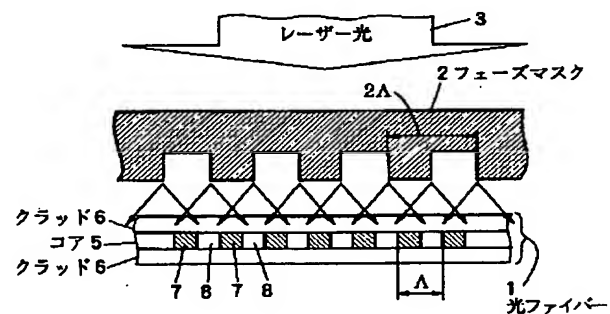
2H050 AC82 AC84

(54) 【発明の名称】 光導波路素子の製造方法

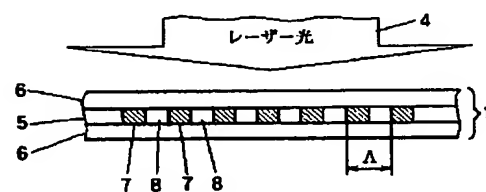
(57) 【要約】

【課題】 ブラッググレーティングの特性を正確に調整することができる光導波路素子の製造方法を提供する。

【解決手段】 光誘起屈折率変化を生じる光ファイバー1にフェーズマスク2を介して紫外線レーザー光3を照射するブラッググレーティング形成工程と、光ファイバー1にフェーズマスク2を介さずに紫外線レーザー光3を照射するトリミング工程とを有する製造方法。



(A) ブラッググレーティング形成工程



(B) トリミング工程

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光誘起屈折率変化を生じる光導波路に紫外光を照射してブラッググレーティングを形成する工程と、

上記光導波路に紫外光を照射してブラッググレーティングの特性を調整するトリミング工程とを有することを特徴とする光導波路素子の製造方法。

【請求項2】 上記ブラッググレーティング形成工程が、光導波路にフェーズマスクを介して紫外光を照射してブラッググレーティングを形成する工程であり、上記トリミング工程が、光導波路にフェーズマスクを介さず紫外光を照射して特性を調整する工程であることを特徴とする請求項1記載の光導波路素子の製造方法。

【請求項3】 上記トリミング工程を、上記ブラッググレーティング形成工程より先に実施することを特徴とする請求項1又は2のいずれか一つに記載の光導波路素子の製造方法。

【請求項4】 上記トリミング工程を、上記ブラッググレーティング形成工程より後に実施することを特徴とする請求項1又は2のいずれか一つに記載の光導波路素子の製造方法。

【請求項5】 上記紫外光がレーザー光であることを特徴とする請求項1から4までのいずれか一つに記載の光導波路素子の製造方法。

【請求項6】 上記ブラッググレーティングがチャープドグレーティングであることを特徴とする請求項1から5までのいずれか一つに記載の光導波路素子の製造方法。

【請求項7】 上記ブラッググレーティングがブレースドチャープドグレーティングであることを特徴とする請求項1から5までのいずれか一つに記載の光導波路素子の製造方法。

【請求項8】 上記トリミング工程において、光導波路に照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーの分布がブラッググレーティング形成領域の長手方向の全域にわたって均一であることを特徴とする請求項1から7までのいずれか一つに記載の光導波路素子の製造方法。

【請求項9】 上記トリミング工程において、光導波路に照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーの分布がブラッググレーティング形成領域の長手方向の両端部近傍において徐々に低下する台形型のプロファイルを示すことを特徴とする請求項1から7までのいずれか一つに記載の光導波路素子の製造方法。

【請求項10】 上記ブラッググレーティング形成工程において、光導波路に照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーがブラッググレーティング形成領域の長手方向の両端部近傍において徐々に低下しており、上記トリミング工程において、光導波路に照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーの分布がブラッ

ググレーティング形成領域の長手方向の両端部近傍において徐々に低下する台形型のプロファイルを示すことを特徴とする請求項1から7までのいずれか一つに記載の光導波路素子の製造方法。

【請求項11】 上記トリミング工程をブラッググレーティング形成領域の一部に実行することを特徴とする請求項1から7までのいずれか一つに記載の光導波路素子の製造方法。

【請求項12】 上記トリミング工程において、光導波路に照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーの分布がブラッググレーティング形成領域の長手方向に沿って徐々に増加又は減少することを特徴とする請求項1から7までのいずれか一つに記載の光導波路素子の製造方法。

【請求項13】 上記トリミング工程において、光導波路に照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーの分布がブラッググレーティング形成領域の長手方向に沿って連続的に変化することを特徴とする請求項1から7までのいずれか一つに記載の光導波路素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、例えば、光フィルタ等の光導波路素子の製造方法に関し、特に、光ファイバー等の光導波路中に形成されたブラッググレーティングの特性を調整する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 米国特許第4,807,950号公報及び特開平7-140311号公報には、フェーズマスクを用いたブラッググレーティングの形成方法が開示されている。これらの公報に開示された方法によれば、紫外線に対してフォトリフラクティブ効果（光誘起屈折率変化）を有する光ファイバー上にフェーズマスクを置き、このフェーズマスクを介して光ファイバーに紫外光を照射する。このとき、フェーズマスクに入射した紫外光はフェーズマスクにより回折され、互いに干渉してフェーズマスクピッチ2 Λ の半分のピッチ Λ で干渉が発生する。このため、光ファイバーのコアには、フォトリフラクティブ効果により、ピッチ Λ ごとに屈折率変化が生じ、その結果、光ファイバーのコアにブラッググレーティングが形成される。ブラッググレーティングは、ブラッグ波長 λ_B の入力光を反射する。ここで、 $\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda$ であり、 n_{eff} はブラッググレーティング形成領域の実効屈折率である。

【0003】ところで、ブラッググレーティングを適用した分波又は合波用の光波長フィルタには、ほぼ100%の反射率が要求される。これに対し、例えば、光アンプの利得均一化フィルタにブラッググレーティングを応用する場合は、光アンプの利得特性の逆の反射スペクトル特性を有するフィルタが要求される。また、ブラッグ

グレーティングを応用した光フィルタを、半導体レーザーの波長選択や波長安定化に用いる場合は、半導体レーザーの出力効率を極力損わない反射率の設定が必要になる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、光誘起屈折率変化 Δn の照射紫外線強度（即ち、単位面積当たりに照射される紫外光の積算エネルギー E （ J/cm^2 ））依存性は、図13に示されるように、対数関数的な特性を有している。図13からわかるように、光誘起屈折率変化 Δn は、照射紫外線の積算エネルギー E が小さい場合には顕著に現れ（図13の曲線の傾斜が急であり）、照射紫外線の積算エネルギー E が大きい場合には顕著ではない（図13の曲線の傾斜が緩やかである）。従来は、低反射率ブラッググレーティングを形成する場合に、照射紫外線の積算エネルギー E が小さい領域を利用していたので、僅かな製造条件の変動（即ち、照射紫外線の積算エネルギー E の変動）が光誘起屈折率変化 Δn （その結果、反射率）に大きく反映するため、高反射率ブラッググレーティングを形成する場合（照射紫外線の積算エネルギー E が大きい場合）に比べて、十分に高い反射率精度（製造再現性）を得ることが困難であった。

【0005】そこで、本発明は、上記したような従来技術の課題を解決するためになされたものであり、その目的とするところは、ブラッググレーティングの反射特性を正確に調整することができる光導波路素子の製造方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光導波路素子の製造方法は、光誘起屈折率変化を生じる光導波路に紫外光を照射してブラッググレーティングを形成する工程と、上記光導波路に紫外光を照射してブラッググレーティングの特性を調整するトリミング工程とを有することを特徴としている。

【0007】また、上記ブラッググレーティング形成工程を、光導波路にフェーズマスクを介して紫外光を照射してブラッググレーティングを形成する工程とし、上記トリミング工程を、光導波路にフェーズマスクを介さずに紫外光を照射して特性を調整する工程としてもよい。

【0008】また、上記トリミング工程を、上記ブラッググレーティング形成工程より先に実施しても、後に実施してもよい。

【0009】また、上記紫外光がレーザー光であることが望ましい。

【0010】また、上記ブラッググレーティングがチャープドグレーティング又はブレードチャープドグレーティングであってもよい。

【0011】また、上記トリミング工程において、光導

波路に照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーの分布がブラッググレーティング形成領域の長手方向の全域にわたって均一としてもよい。

【0012】また、上記トリミング工程において、光導波路に照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーの分布がブラッググレーティング形成領域の長手方向の両端部近傍において徐々に低下する台形型のプロファイルを示すようにしてもよい。

【0013】また、上記ブラッググレーティング形成工程において、光導波路に照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーがブラッググレーティング形成領域の長手方向の両端部近傍において徐々に低下しており、上記トリミング工程において、光導波路に照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーの分布がブラッググレーティング形成領域の長手方向の両端部近傍において徐々に低下する台形型のプロファイルを示すようにしてもよい。

【0014】また、上記トリミング工程をブラッググレーティング形成領域の一部に実行してもよい。

【0015】また、上記トリミング工程において、光導波路に照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーの分布がブラッググレーティング形成領域の長手方向に沿って徐々に増加又は減少するようにしてもよい。

【0016】また、上記トリミング工程において、光導波路に照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーの分布がブラッググレーティング形成領域の長手方向に沿って連続的に変化するようにしてもよい。

【0017】

【発明の実施の形態】第1の実施形態

本実施形態は、ユニフォームブラッググレーティングの反射率と反射中心波長の調整に関する。

【0018】図1は、本発明の第1の実施形態に係る光導波路素子の製造方法の工程説明図であり、同図（A）は、ブラッググレーティング形成工程を示し、同図

（B）は、ブラッググレーティングの特性を調整するトリミング工程を示す。

【0019】図1に示されるように、第1の実施形態に係る製造方法は、光誘起屈折率変化を生じる光導波路としての光ファイバー1にフェーズマスク2を介して紫外線レーザー光3を照射するブラッググレーティング形成工程（同図（A））と、光ファイバー1にフェーズマスク2を介さずに紫外線レーザー光4を照射するトリミング工程（同図（B））とを有する。但し、ブラッググレーティングの形成を、フェーズマスク法以外の方法（例えば、2光束干渉法）によって実行してもよい。

【0020】光ファイバー1としては、ゲルマニウムがドーパされた石英系導波路からなるコア5と、このコア5の外側を囲うクラッド6とから構成された感光性光ファイバー（例えば、ファイバーコア（Fibercore）社製の製品番号PS1500）を用いる。また、第1の実施形

態におけるフェーズマスク2のラインアンドスペースのピッチは、一定であり、 2Λ である。また、紫外線レーザー光3としては、例えば、アルゴンSHG(Second Harmonic Generation)レーザーから照射される波長240nm付近の紫外コヒーレント光を用いる。図1(A)に示されるように、光ファイバー1にフェーズマスク2を介して紫外線レーザー光3を照射すると、コア5には、コア軸方向(即ち、光ファイバー長手方向又はブラッググレーティング形成領域の長手方向)に屈折率変化部分7と屈折率変化しない部分8が交互に、フェーズマスク2のピッチ 2Λ の半分のピッチ Λ で形成され、その結果、コア5に周期的な屈折率分布が生じた領域(ブラッググレーティング)が形成される。

【0021】次のトリミング工程においては、図1(B)に示されるように、光ファイバー1にフェーズマスク2を介さずに紫外線レーザー光4を照射する。紫外線レーザー光4としては、紫外線レーザー光3と同じものを用いてもよい。紫外線レーザー光4の照射に際しては、例えば、光ファイバー3を支持するテーブル(図示せず)又は紫外線レーザー光4をコア軸方向に一定速度で移動させる。トリミング工程は、1回でもよいが、複数のトリミング工程によって光ファイバーの特性を要求される値に到達させてもよい。尚、図1においては、トリミング工程をブラッググレーティング形成工程より後に実施しているが、トリミング工程をブラッググレーティング形成工程より先に実施してもよい。

【0022】図2は、第1の実施形態に係る光導波路素子の製造方法を説明するための図であり、同図(A)は、ブラッググレーティング形成工程後のコア5の屈折率分布(実線)と有効屈折率 n_{eff} (破線)を示し、同図(B)は、トリミング工程後のコア5の屈折率分布(実線)と有効屈折率 n_{eff}' (破線)を示し、同図(C)は、単位面積当たりの照射紫外線エネルギー ΔE (J/cm^2)に対する光誘起屈折率変化 Δn が照射紫外線の積算エネルギー E (J/cm^2)によって変化することを示す説明図である。

【0023】図2(A)に実線で示されるように、ブラッググレーティング形成工程後のコア5の屈折率分布は、光誘起屈折率差が Δn_B で屈折率変化の周期(ピッチ)が Λ であり、山の部分(図1における屈折率変化部分7に対応する部分)の最高値が Δn_a で谷の部分(図1における屈折率変化しない部分8に対応する部分)の最低値が Δn_b になる。また、 n_{core} は、紫外線照射前のコア5の屈折率を示す。この場合、ブラッグ波長 λ_B は、 $\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda$ となる。

【0024】また、図2(B)に実線で示されるように、トリミング工程後のコア5の屈折率分布は、光誘起屈折率差が $\Delta n_B'$ で周期が Λ であり、山の部分の最高値が $\Delta n_a'$ で谷の部分の最低値が $\Delta n_b'$ になる。図2(C)に示されるように、トリミング工程においては、

コア5に均一に(単位面積に照射された紫外線の照射エネルギーが ΔE であるように)紫外線が照射された。この場合、コア5の実効屈折率は n_{eff} から n_{eff}' に増加し、ブラッグ波長 λ_B は、 $2n_{eff}\Lambda$ から $2n_{eff}'\Lambda$ に増加する。図2(C)に示されるように、照射紫外線の積算エネルギー E の低い部分では、照射エネルギー ΔE の紫外線照射により、屈折率の最低値(図1における屈折率変化しない部分8の屈折率)が Δn_b から $\Delta n_b'$ に上昇し、積算エネルギー E の高い部分では、照射エネルギー ΔE の紫外線照射により、屈折率の最低値(図1における屈折率変化部分7の屈折率)が Δn_a から $\Delta n_a'$ に上昇する。従って、積算エネルギー E の低い部分では、照射エネルギー ΔE の紫外線照射により光誘起屈折率の谷の部分の最低値が $\Delta n_{bottom} (= \Delta n_b' - \Delta n_b)$ と大きく変化するが、積算エネルギーの高い部分では、照射エネルギー ΔE の紫外線照射により光誘起屈折率の山の部分の最高値は $\Delta n_{top} (= \Delta n_a' - \Delta n_a)$ と僅かに変化する。この結果、照射エネルギー ΔE の紫外線照射により、ブラッググレーティングを形成する光誘起屈折率差 $\Delta n_B = \Delta n_a - \Delta n_b$ が、図2(B)に示されるように、光誘起屈折率差 $\Delta n_B' = \Delta n_a' - \Delta n_b'$ に変化する。光誘起屈折率の紫外光強度依存性から明らかなように、常に $\Delta n_{bottom} > \Delta n_{top}$ であるから、ブラッググレーティングを形成する光誘起屈折率差は小さくなり(即ち、 $\Delta n_B > \Delta n_B'$)、ブラッググレーティングの反射率は低下する。このような光誘起屈折率の変化に伴い、このグレーティング形成領域の実効屈折率 n_{eff} が n_{eff}' に変化し、ブラッグ波長 λ_B も変化する。この現象を利用することで、ブラッググレーティング形成後に、反射スペクトル(特に、反射率と反射中心波長)を調整(トリミング)することができる。

【0025】図3は、第1の実施形態のトリミング工程を狭帯域(FWHM(半値幅): 0.2nm程度)のファイバーブラッググレーティング(FBG)に複数回実行した場合の反射スペクトルの変化を示す図である。図3に示されるように、トリミング工程を繰り返すことにより、反射率が低下し、反射中心波長が長波長側にシフトし、反射スペクトルは図中の矢印方向に変化する。図4は、第1の実施形態のトリミング工程を3種類(それぞれを記号○、●、△で区別する。)の狭帯域FBGのそれぞれに複数回実行した場合の反射スペクトルの変化を示す図である。図4に示されるように、複数のトリミング工程によりFBGの反射率は低下し、反射中心波長が長波長側にシフトする。図3及び図4からわかるように、第1の実施形態に係る製造方法によれば、数10%に及ぶ反射率調整とブラッググレーティングのFWHMに相当する約0.2nmの反射波長の調整が可能になる。

【0026】また、第1の実施形態のようなユニフォームブラッググレーティングにおける反射率や反射中心波

長の調整（トリミング）は、半導体光アンブ素子等と先球レンズファイバーに形成したブラッググレーティングとを組み合わせる構成された外部共振器或いは半導体光アンブ素子等とPLC型光導波路に形成されたブラッググレーティングとを組み合わせる構成された外部共振器によってレーザー発振を得る光モジュール等に使用されるブラッググレーティングの反射率／波長のトリミング（調整）に有効である。

【0027】図5は、第1の実施形態の変形例を説明するための図であり、図中の曲線は単位面積当たりに照射される照射紫外線の積算エネルギー E (J/cm^2) に対する光誘起屈折率変化 Δn を示す。この変形例は、照射紫外線のエネルギー ΔE を大きくしている点のみが、図1から図4までに示される製造方法と相違する。また、図6は、トリミング工程後のコア5の屈折率分布を示す。図6において、 X はコア軸方向を示し、 Δn_R は、光誘起屈折率差を示す。図6において、11は、トリミング工程における屈折率変化分を示し、12は、グレーティング形成工程による屈折率変化を示す。この変形例によれば、照射される紫外線の単位面積当たりの照射エネルギーの変動に対する光誘起屈折率変化の大きい部分（図5の部分13）ではなく、照射エネルギーの変動に対する光誘起屈折率変化の小さい部分（図5の部分14）を利用しているので、ファイバーにブラッググレーティングを形成する際に照射される紫外線の単位面積当たりの照射エネルギーの変動に起因する特性劣化を軽減することができる。

【0028】図7は、第1の実施形態の他の変形例を説明するための図であり、トリミング工程後のコア5の屈折率分布を示す。この変形例は、照射エネルギー ΔE を大きくしている点及び照射紫外線の単位面積当たりのエネルギーの分布がブラッググレーティング形成領域の長手方向の両端部近傍において徐々に低下している点だが、上記図1から図4までに示される製造方法と相違する。図7において、15は、トリミング工程における屈折率変化分を示し、16は、グレーティング形成工程による屈折率変化を示す。この変形例によれば、ファイバーにブラッググレーティングを形成する際に照射される紫外光のエネルギー（ファイバに照射される単位面積当たりの積算エネルギー）の変動に起因する特性劣化を軽減することができる。また、ブラッググレーティング境界部における伝搬光のロスを軽減することができる。

【0029】第2の実施形態

第2の実施形態に係る光導波路素子の製造方法は、ブラッググレーティング形成工程においてサイドローブ抑圧比の改善のためにブラッググレーティング形成領域の両端部に屈折率変調（アボダイズ）させた部分を設けた場合に関する。

【0030】図8は、第2の実施形態に係る光導波路素子の製造方法を説明するための図であり、同図（A）

は、ブラッググレーティング形成工程後のコア5の屈折率分布（実線）と有効屈折率 n_{eff} （破線）を示し、同図（B）は、トリミング工程後のコア5の屈折率分布（実線）と有効屈折率 n_{eff}' （破線）を示す。

【0031】第2の実施形態に係る製造方法は、光誘起屈折率変化を生じる光ファイバーにフェーズマスクを介して紫外線レーザー光を照射するブラッググレーティング形成工程（図1（A）に対応する工程）と、光ファイバーにフェーズマスクを介さずに紫外線レーザー光を照射するトリミング工程（図1（B）に対応する工程）とを有する。

【0032】第2の実施形態におけるフェーズマスクのラインアンドスペースのピッチは、一定値 2Λ である。このフェーズマスクを介して光ファイバーに紫外線レーザー光を照射すると、コアには、コア軸方向に屈折率変化部分と屈折率が変化しない部分が交互に、フェーズマスクのピッチの半分のピッチ Λ で形成される。その結果、コアにブラッググレーティングを形成することができる。第2の実施形態のブラッググレーティング形成工程においては、図8（A）に示されるように、ブラッググレーティング形成工程において照射される紫外線レーザー光の単位面積当たりの積算エネルギーがブラッググレーティング形成領域の長手方向の両端部において端部に近づくほど徐々に低下するようにアボダイズがなされている。

【0033】次のトリミング工程においては、図8（B）に示されるように、光導波路に照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーの分布がブラッググレーティング形成領域の長手方向の両端部近傍において徐々に低下する台形型のプロファイルを示すように、トリミング工程における紫外線照射においても、図8（A）の場合と同様にアボダイズを行った。トリミング工程においては、光ファイバーにフェーズマスクを介さずに紫外線レーザー光を照射する。紫外線レーザー光の照射に際しては、例えば、光ファイバーを支持するテーブル又は紫外線レーザー光をコア軸方向に移動させる。レーザー光の照射エネルギーを一定に保ちながら、この移動速度を変化させることによって、単位面積当たりの照射紫外線エネルギーの分布をコア軸方向に調整することができる。こうすることによって、ブラッググレーティング形成領域の全域にトリミングを施すことができる。トリミング工程は、1回でもよいが、複数回のトリミング工程によって光ファイバーの特性を要求される値に到達させてもよい。尚、照射紫外線エネルギーの分布をコア軸方向に調整する方法としては、マスクを用いる方法もある。

【0034】以上説明したように、第2の実施形態によれば、トリミング工程においても、屈折率変調（アボダイズ）を行って、グレーティング形成領域両端での屈折率の不連続点を解消したので、ファブリペロー干渉が抑

制され、ブラッググレーティングとしてのサイドローブ抑圧比を改善することができる。

【0035】また、第2の実施形態において、上記以外の点は、上記第1の実施形態と同じである。

【0036】第3の実施形態

第3の実施形態は、広帯域（FWHM約1.0nm）のチャープドブラッググレーティングが形成された全域に反射率調整のための紫外光照射（トリミング）を行ったものである。

【0037】図9は、第3の実施形態に係る光導波路素子の製造方法を説明するための図であり、同図（A）は、ブラッググレーティング形成工程後のコア5の屈折率分布（実線）と有効屈折率 n_{eff} （破線）を示し、同図（B）は、トリミング工程後のコア5の屈折率分布（実線）と有効屈折率 n_{eff}' （破線）を示し、同図（C）は、トリミング工程を繰り返すことにより反射スペクトルが変化することを示す。

【0038】第3の実施形態に係る製造方法は、光誘起屈折率変化を生じる光ファイバーにフェーズマスクを介して紫外線レーザー光を照射するブラッググレーティング形成工程（図1（A）に対応する工程）と、光ファイバーにフェーズマスクを介さずに紫外線レーザー光を照射するトリミング工程（図1（B）に対応する工程）とを有する。

【0039】第3の実施形態におけるフェーズマスクのラインアンドスペースのピッチは、一定ではなく、最大値 $2\Lambda_1$ から最小値 $2\Lambda_2$ まで徐々に増加又は減少している。このフェーズマスクを介して光ファイバーに紫外線レーザー光を照射すると、コアには、コア軸方向に屈折率変化部分と屈折率が変化しない部分が交互に、フェーズマスクのピッチの半分のピッチ（ $\Lambda_1 \sim \Lambda_2$ ）で形成される。その結果、コアにチャープドブラッググレーティングを形成することができる。即ち、図9（A）に示すように、第3の実施形態の広帯域のブラッググレーティングは光誘起屈折率変化のピッチを最大 Λ_1 から最小 Λ_2 まで連続的に変化させることで形成されており、反射波長帯域は $\lambda_{B1} = 2 n_{eff} \Lambda_1$ から $\lambda_{B2} = 2 n_{eff} \Lambda_2$ までの連続波長である。

【0040】次のトリミング工程においては、光ファイバーにフェーズマスクを介さずに紫外線レーザー光を照射する。紫外線レーザー光の照射に際しては、例えば、光ファイバーを支持するテーブル又は紫外線レーザー光をコア軸方向に一定速度で移動させる。こうすることによって、ブラッググレーティング形成領域の全域にトリミングを施すことができる。トリミング工程は、1回でもよいが、複数回のトリミング工程によって光ファイバーの反射特性を要求される値に到達させてもよい。尚、トリミング領域を制限する方法としては、マスクを用いる方法もある。

【0041】以上説明したように、第2の実施形態によ

れば、チャープドブラッググレーティングが形成された全域に、均等なエネルギーで、トリミング工程における紫外光照射を行うことにより、ブラッググレーティングを形成する光誘起屈折率差 Δn_E を小さくしている（ $\Delta n_E'$ にしている）ので、照射する紫外光の積算エネルギーが大きいほど、ブラッググレーティングの反射率は反射波長帯域内で均等に低下する。従って、第1の実施形態と同様に、反射率を精度良く設定することができる。この場合は、図9（C）に示されるように、反射波長変化は反射波長帯域幅に比べて十分小さいことから、現実的には反射率のみを調整することができる。また、第2の実施形態と同様に、反射率を調整するトリミングにアボダイズを施せばサイドローブ抑圧比を改善することができる。

【0042】また、第3の実施形態において、上記以外の点は、上記第1の実施形態又は第2の実施形態と同じである。

【0043】第4の実施形態

第4の実施形態は、チャープドブラッググレーティングが形成された一部分にのみ反射率調整のための紫外光照射（トリミング）を行ったものである。

【0044】図10は、第4の実施形態に係る光導波路素子の製造方法を説明するための図であり、同図（A）は、ブラッググレーティング形成工程後のコア5の屈折率分布（実線）と有効屈折率 n_{eff} （破線）を示し、同図（B）は、トリミング工程後のコア5の屈折率分布（実線）と有効屈折率 n_{eff}' （破線）を示し、同図（C）は、トリミング工程による反射スペクトルの変化を示す。

【0045】第4の実施形態に係る製造方法は、光誘起屈折率変化を生じる光ファイバーにフェーズマスクを介して紫外線レーザー光を照射するブラッググレーティング形成工程（図1（A）に対応する工程）と、光ファイバーにフェーズマスクを介さずに紫外線レーザー光を照射するトリミング工程（図1（B）に対応する工程）とを有する。

【0046】第4の実施形態におけるフェーズマスクのラインアンドスペースのピッチは、一定ではなく、最大値 $2\Lambda_1$ から最小値 $2\Lambda_2$ まで徐々に増加又は減少している。このフェーズマスクを介して光ファイバーに紫外線レーザー光を照射すると、コアには、コア軸方向に屈折率変化部分と屈折率が変化しない部分が交互に、フェーズマスクのピッチの半分のピッチ（ $\Lambda_1 \sim \Lambda_2$ ）で形成される。その結果、コアにチャープドブラッググレーティングを形成することができる。即ち、図10（A）に示すように、第4の実施形態の広帯域のブラッググレーティングは光誘起屈折率変化のピッチを最大 Λ_1 から最小 Λ_2 まで連続的に変化させることで形成されており、反射波長帯域は $\lambda_{B1} = 2 n_{eff} \Lambda_1$ から $\lambda_{B2} = 2 n_{eff} \Lambda_2$ までの連続波長である。

【0047】次のトリミング工程においては、光ファイバーにフェーズマスクを介さずに紫外線レーザー光を照射する。紫外線レーザー光の照射に際しては、例えば、光ファイバーを支持するテーブル又は紫外線レーザー光をコア軸方向に移動させる。この移動範囲を制限することによって、ブラッググレーティング形成領域の一部にトリミングを施すことができる。トリミング工程は、1回でもよいが、複数回のトリミング工程によって光ファイバーの反射特性を要求される値に到達させてもよい。尚、トリミング領域を制限する方法としては、マスクを用いる方法もある。

【0048】第4の実施形態においては、チャープドブグレーティングが形成された領域の一部に、照射紫外線エネルギーを一定にして紫外光照射を行っているので、照射紫外線エネルギーの分布は、図10(B)の実効屈折率 n_{eff} として示された破線と同様のプロファイルを示す。即ち、トリミング工程をチャープドブグレーティング形成領域の一部に施したことによって、図10(C)に実線で示されるように、階段状の反射スペクトルを得ることができる。

【0049】以上説明したように、第4の実施形態によれば、図10(C)に示されるように、グレーティング形成領域内で階段状に変化した反射スペクトルを得ることができ、製造された素子に、希望する波長において反射率が急に変化する特性を持たせることができる。このような特性は、例えば、2値センサー等への応用に適している。

【0050】尚、第4の実施形態におけるトリミング工程における照射紫外線エネルギーの分布のプロファイルに、上記第2の実施形態と同様に、反射率を調整するアボダイズを施せばサイドローブ抑圧比の改善に有効である。

【0051】また、第4の実施形態において、上記以外の点は、上記第1から第3までの実施形態と同じである。

【0052】第5の実施形態

第5の実施形態は、チャープドブラックグレイディングが形成された全域に、反射率調整のための紫外光照射（トリミング）を、コア軸方向に照射紫外線エネルギーを連続的に変化させて行ったものである。

【0053】図11は、第5の実施形態に係る光導波路素子の製造方法を説明するための図であり、同図(A)は、ブラッググレーティング形成工程後のコア5の屈折率分布(実線)と有効屈折率 n_{eff} (破線)を示し、同図(B)は、トリミング工程後のコア5の屈折率分布(実線)と有効屈折率 n_{eff}' (破線)を示し、同図(C)は、トリミング工程による反射スペクトルの変化を示す図である。

【0054】第5の実施形態に係る製造方法は、光誘起屈折率変化を生じる光ファイバーにフェーズマスクを介

して紫外線レーザー光を照射するブラッググレーティング形成工程（図１（Ａ）に対応する工程）と、光ファイバーにフェーズマスクを介さずに紫外線レーザー光を照射するトリミング工程（図１（Ｂ）に対応する工程）とを有する。

【0055】図11(A)に示されるように、広帯域のブラッググレーティングはグレーディングのピッチを連続的に、例えば、 Λ_1 から Λ_2 まで変化させることによって形成されている。この場合の反射波長帯域は $\lambda_{B1} = 2 n_{eff} \Lambda_1$ から $\lambda_{B2} = 2 n_{eff} \Lambda_2$ までの連続波長である。第5の実施形態においては、チャープドグレーティングが形成された領域の全域に、照射紫外線エネルギーを徐々に変化させながら紫外光照射を行う。照射紫外線エネルギーの分布は、図11(B)の実効屈折率 n_{eff}' として示された直線(破線)と同様のプロファイルを示す。トリミング工程を実行すると、図11(B)に示されるように、チャープドブラッググレーティングの光誘起屈折率差が小さくなる。トリミング工程によって、チャープドブラッググレーティングの波長域における反射率にはその反射波長帯域内で傾斜が発生する。

【００５６】以上説明したように、第５の実施形態の製造方法によれば、図１１（Ｃ）に示されるように、グレーティング形成領域内で連続的に傾斜した反射スペクトルを得ることができ、波長の増加に応じて反射率が増加又は低下する特性を用いるアナログセンサー等への応用に適した特性を持たせることができる。

【0057】尚、第5の実施形態におけるトリミング工程における照射紫外線エネルギーの分布のプロファイルに、上記第2の実施形態と同様に、反射率を調整するアボダイズを施せばサイドロープ抑圧比の改善に有効である。

【0058】また、第5の実施形態において、上記以外の点は、上記第1から第4までの実施形態と同じである。

【0059】第6の実施形態

第6の実施形態は、ブレードチャープドブラッググレーティングが形成された全域に、反射率調整のための紫外光照射（トリミング）を連続的に任意のパターンでコア軸方向に照射紫外線エネルギーを変化させて行ったものである。

【0060】図12は、第6の実施形態を説明するための図であり、同図(A)は、ブラッググレーティング形成工程後のコア軸方向の屈折率分布(実線)及び実効反射率(破線)を示し、同図(B)は、トリミング工程後のコア軸方向の屈折率分布(実線)及び実効反射率(破線)を示し、同図(C)は、トリミング工程による透過率の変化を示す図である。

【0061】第6の実施形態に係る製造方法は、光誘起屈折率変化を生じる光ファイバーにフェーズマスクを介して紫外線レーザー光を照射するブラックグレーティング

グ形成工程(図1(A)に対応する工程)と、光ファイバーにフェーズマスクを介さずに紫外線レーザー光を照射するトリミング工程(図1(B)に対応する工程)とを有する。

【0062】第6の実施形態におけるフェーズマスクのラインアンドスペースのピッチは、一定ではなく、最大値 $2\Lambda_1$ から最小値 $2\Lambda_2$ まで徐々に増加又は減少している。このフェーズマスクを介して光ファイバーに紫外線レーザー光を照射すると、コアには、コア軸方向に屈折率変化部分と屈折率が変化しない部分が交互に、フェーズマスクのピッチの半分のピッチ($\Lambda_1 \sim \Lambda_2$)で形成される。その結果、コアにブレードチャープドブラッググレーティングを形成することができる。即ち、図11(A)に示すように、第6の実施形態の広帯域のブレードチャープドブラッググレーティングは光誘起屈折率変化のピッチを最大 Λ_1 から最小 Λ_2 まで連続的に変化させることで形成されており、透過波長帯域は $\lambda_{B1} = 2n_{eff}\Lambda_1$ から $\lambda_{B2} = 2n_{eff}\Lambda_2$ までの連続波長である。

【0063】次のトリミング工程においては、光ファイバーにフェーズマスクを介さずに紫外線レーザー光を照射する。紫外線レーザー光の照射に際しては、例えば、光ファイバーを支持するテーブル又は紫外線レーザー光をコア軸方向に移動させる。この移動速度を変化させることによって、単位面積当たりの照射紫外線エネルギーの分布をコア軸方向に調整することができる。トリミング工程は、1回でもよいが、複数回のトリミング工程によって光ファイバーの反射特性を要求される値に到達させてもよい。尚、単位面積当たりの照射紫外線エネルギーの分布をコア軸方向に調整する方法としては、マスクを用いる方法もある。

【0064】第6の実施形態においては、ブレードチャープドグレーティングが形成された領域の全域に、照射紫外線エネルギーの分布をあるパターンで変化させながら紫外光照射を行う。照射紫外線エネルギーの分布は、図12(B)の実効屈折率 n_{eff}' として示された曲線(破線)と同様のプロファイルを示す。図12(B)において、実効屈折率 n_{eff}' が低下している部分21は、照射紫外線エネルギーが低い部分に相当する。また、トリミング工程を実行すると、図12(B)に示されるように、ブレードチャープドブラッググレーティングの光誘起屈折率差が小さくなる($\Delta n_E'$ になる)。トリミング工程によって、ブレードチャープドブラッググレーティングの波長域における透過率には、その透過波長帯域内におけるある波長(図12(B)における部分21に対応する波長)に損失(図12(C)のトリミング後の透過スペクトルの部分22)が発生する。

【0065】以上説明したように、第6の実施形態によれば、図12(C)に示されるように、波長により損失が連続的に変化する透過スペクトルを得ることができ、

このようなブレードチャープドグレーティングは、特に、光増幅器の利得平坦化素子に有効である。

【0066】尚、第6の実施形態のトリミング工程における照射紫外線エネルギーのコア軸方向の連続的な分布は、製造された素子の用途に応じて決定すればよい。

【0067】また、第6の実施形態において、上記以外の点は、上記第1から第5までの実施形態と同じである。

【0068】また、第1から第6までの実施形態におけるトリミング方法は、第1から第6までの実施形態におけるいずれのブラッググレーティング形成領域にも適用できる。

【0069】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の製造方法によれば、ブラッググレーティング形成領域に紫外光照射を行うトリミング工程によって、ブラッググレーティングの特性を正確に調整することができるという効果がある。

【0070】また、トリミング工程において照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーの分布がブラッググレーティング形成領域の長手方向の全域にわたって均一である場合は、製造された光導波路素子の反射率と反射光の中心波長とを調整することができるという効果がある。

【0071】また、トリミング工程において照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーの分布がブラッググレーティング形成領域の長手方向の両端部近傍において徐々に低下する台形型のプロファイルを示す場合は、製造された光導波路素子におけるファブリペロー干渉が抑制され、ブラッググレーティングとしてのサイドロープ抑圧比を改善できるという効果がある。

【0072】また、トリミング工程をブラッググレーティング形成領域の一部に実行する場合は、製造された光導波路素子に、希望する波長において反射率が急に変化するという特性を持たせることができるという効果がある。

【0073】また、トリミング工程において照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーの分布がブラッググレーティング形成領域の長手方向に沿って徐々に増加又は減少させた場合は、製造された光導波路素子に、波長の増加に応じて反射率が増加又は低下する特性を持たせることができるという効果がある。

【0074】また、トリミング工程において照射される紫外光の単位面積当たりの積算エネルギーの分布がブラッググレーティング形成領域の長手方向に沿って連続的に変化させた場合は、製造された光導波路素子に、所望の反射特性(又は透過率特性)をもたせることができ、特に、利得平坦化素子に適した特性を持たせることができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施形態に係る光導波路素子の製造方法の工程説明図であり、(A)はブラッググレーティング形成工程を示し、(B)はトリミング工程を示す。

【図2】 第1の実施形態に係る光導波路素子の製造方法を説明するための図であり、(A)はブラッググレーティング形成工程後のコアの屈折率分布と有効屈折率を示し、(B)はトリミング工程後のコアの屈折率分布と有効屈折率を示し、(C)は単位面積当たりの照射紫外線エネルギーに対する光誘起屈折率変化量が照射紫外線の積算エネルギーによって変化することを示す説明図である。

【図3】 第1の実施形態において、トリミング工程を狭帯域FBGに複数回実行した場合の反射スペクトルの変化を示す図である。

【図4】 第1の実施形態のトリミング工程により、反射率が低下し、反射中心波長が長波長側にシフトする例を示す図である。

【図5】 第1の実施形態の変形例を説明するための図である。

【図6】 第1の実施形態の変形例におけるトリミング工程後のコアの屈折率分布を示す図である。

【図7】 第1の実施形態の他の変形例におけるトリミング工程後のコアの屈折率分布を示す図である。

【図8】 本発明の第2の実施形態に係る光導波路素子の製造方法を説明するための図であり、(A)はブラッググレーティング形成工程後のコアの屈折率分布と有効屈折率を示し、(B)はトリミング工程後のコアの屈折率分布と有効屈折率を示す。

【図9】 本発明の第3の実施形態に係る光導波路素子の製造方法を説明するため図であり、(A)はブラッググレーティング形成工程後のコアの屈折率分布と有効屈折率を示し、(B)はトリミング工程後のコアの屈折率

分布と有効屈折率を示し、(C)はトリミング工程を繰り返すことにより反射スペクトルが変化することを示す図である。

【図10】 本発明の第4の実施形態に係る光導波路素子の製造方法を説明するための図であり、(A)はブラッググレーティング形成工程後のコアの屈折率分布と有効屈折率を示し、(B)はトリミング工程後のコアの屈折率分布と有効屈折率を示し、(C)はトリミング工程による反射スペクトルの変化を示す。

【図11】 本発明の第5の実施形態に係る光導波路素子の製造方法を説明するための図であり、(A)はブラッググレーティング形成工程後のコアの屈折率分布と有効屈折率を示し、(B)はトリミング工程後のコアの屈折率分布と有効屈折率を示し、(C)はトリミング工程による反射スペクトルの変化を示す。

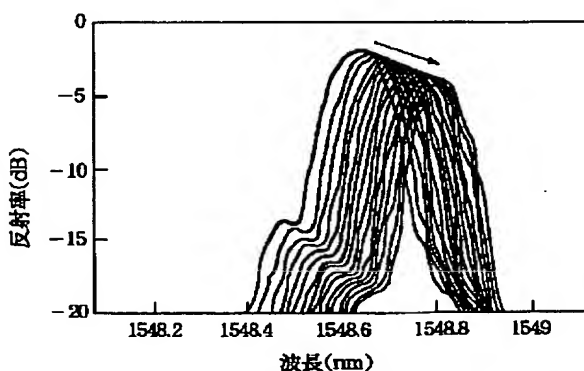
【図12】 本発明の第6の実施形態に係る光導波路素子の製造方法を説明するための図であり、(A)はブラッググレーティング形成工程後のコアの屈折率分布と有効屈折率を示し、(B)はトリミング工程後のコアの屈折率分布と有効屈折率を示し、(C)はトリミング工程による透過率の変化を示す図である。

【図13】 光誘起屈折率変化の紫外線強度依存性を示す図である。

【符号の説明】

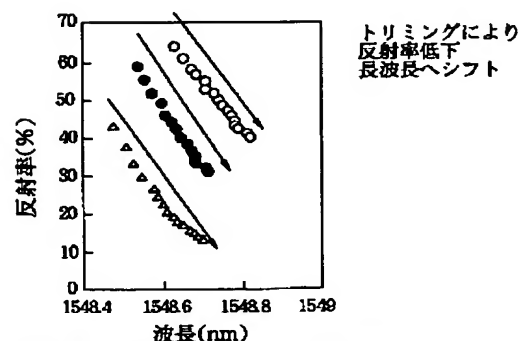
1 光ファイバー、2 フェーズマスク、3、4 紫外線レーザー光、5 コア、6 クラッド、7 屈折率変化部分、8 屈折率が変化しない部分、 Δn 、 Δn_1 、 Δn_2 屈折率変化ビッチ、 n_{eff} ブラッググレーティング形成工程後の実効屈折率、 n_{eff}' トリミング工程後の実効屈折率、 Δn_B ブラッググレーティング形成工程後の光誘起屈折率差、 $\Delta n_B'$ トリミング工程後の光誘起屈折率差。

【図3】



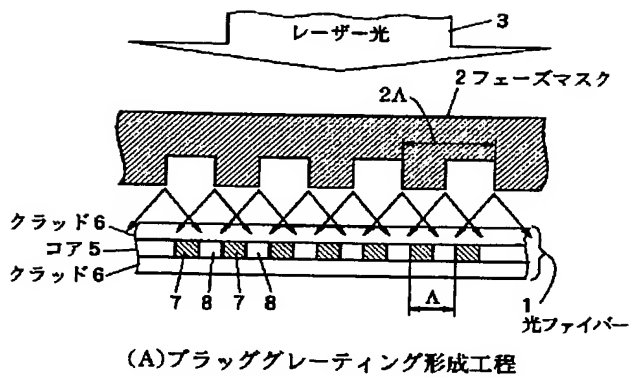
トリミングによるブラッググレーティングの反射スペクトルの変化

【図4】

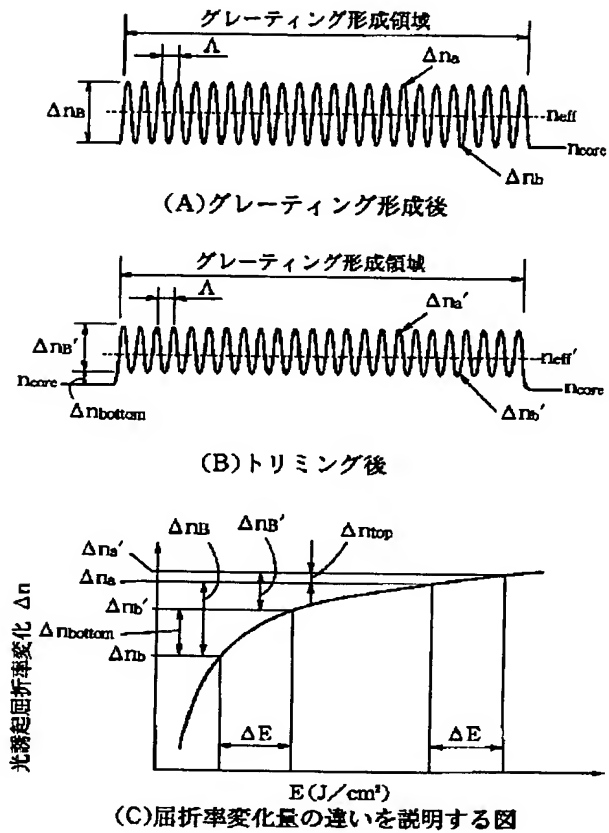


狭帯域FBGでのトリミング効果

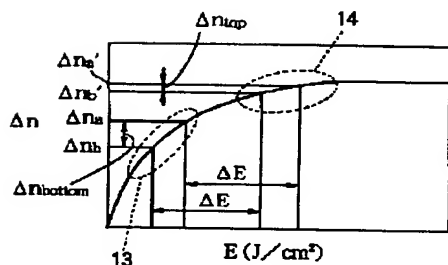
【図1】



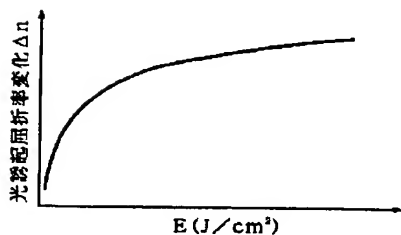
【図2】



【図5】

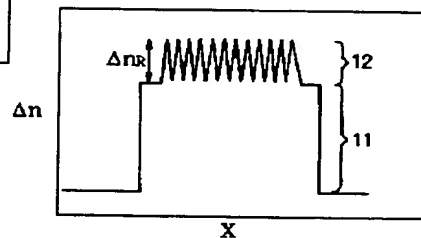


【図13】

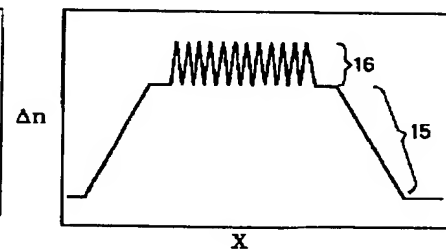


照射紫外線エネルギーと反射率の関係

【図6】



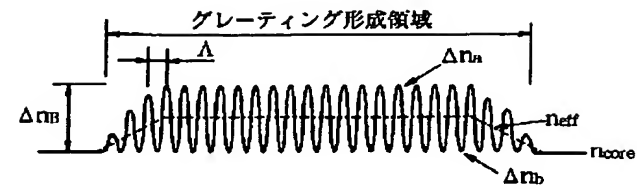
【図7】



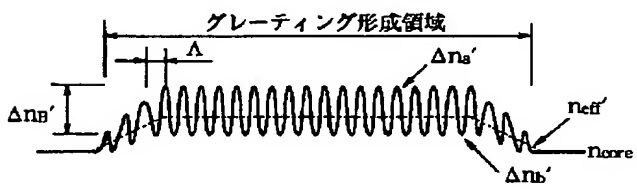
【図6】

【図7】

【図8】



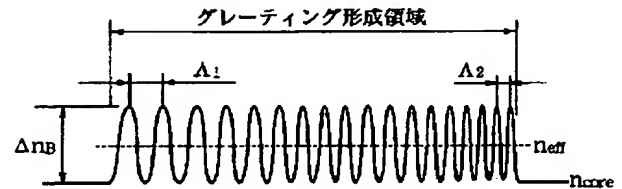
(A)グレーティング形成後



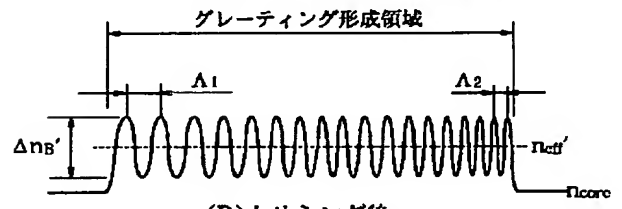
(B)トリミング後

第2の実施形態を説明する図

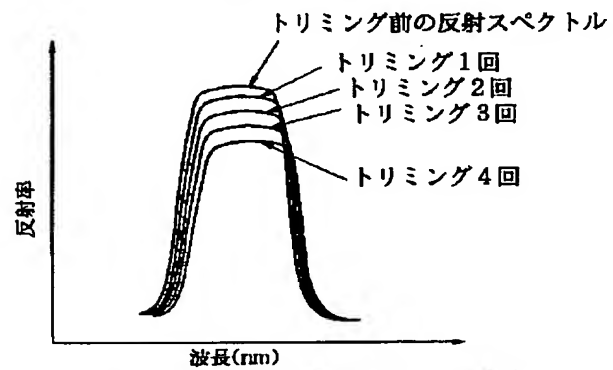
【図9】



(A)グレーティング形成後



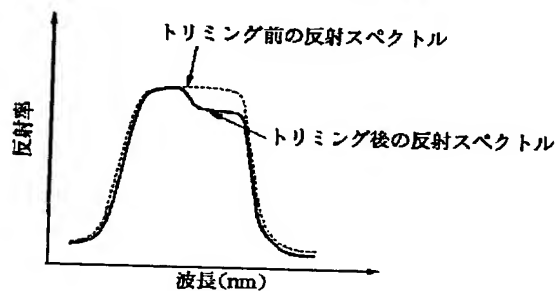
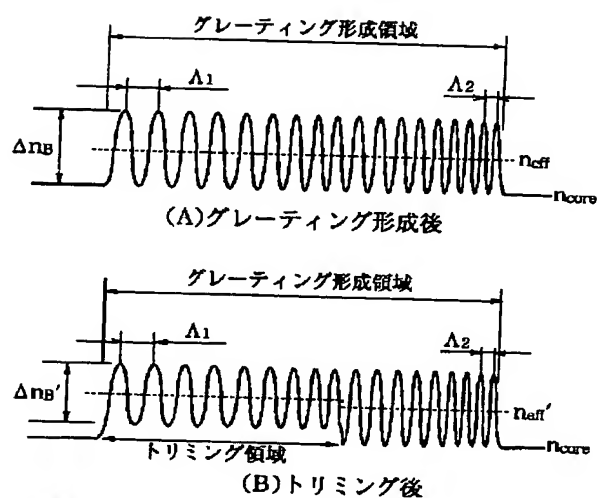
(B)トリミング後



(C)トリミングによるスペクトルの変化

第3の実施形態

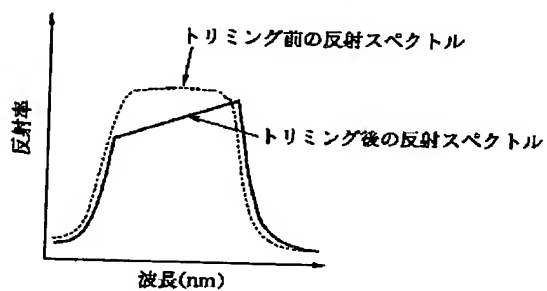
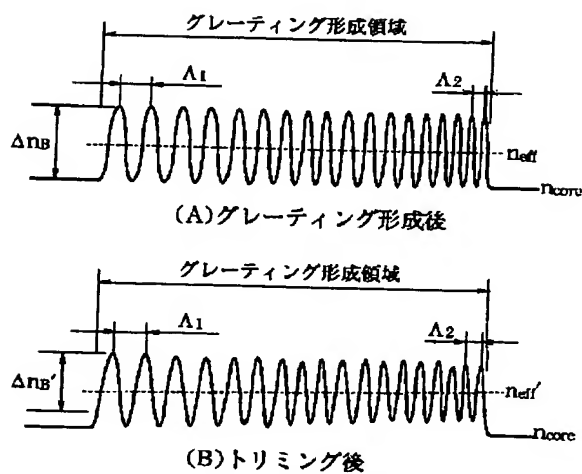
【図10】



(C) トリミングによるスペクトルの変化

第4の実施形態

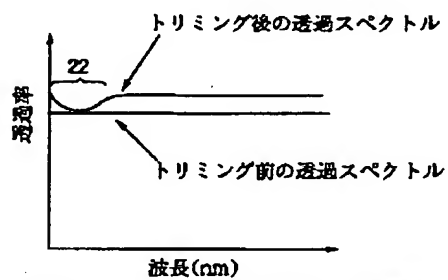
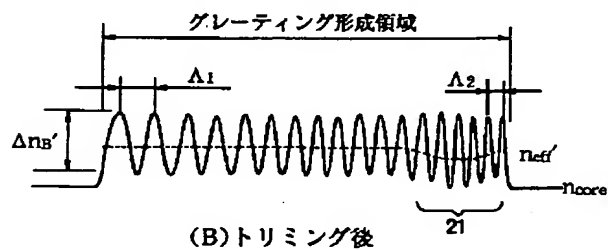
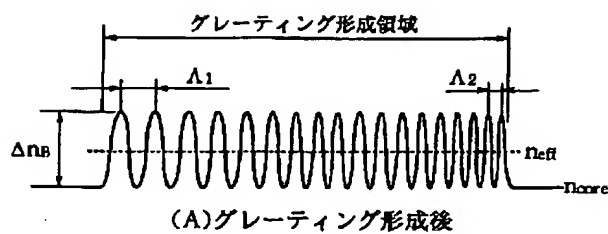
【図11】



(C) トリミングによるスペクトルの変化

第4の実施形態

【図12】



(C) トリミングによるスペクトルの変化

第6の実施形態

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)